UNTERSUCHUNGEN

ÜBER

DEN FARBENCONTRAST

VERMITTELST

ROTIRENDER SCHEIBEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DES DOCTORGRADES

DER PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT DER UNIVERSITÄT LEIPZIG

VORGELEGT

VON

GUSTAV BRUNO THEODOR SCHMERLER.

LEIPZIG

WILHELM ENGELMANN

1882.

(Separat-Druck aus: »Wundt, Philosophische Studien« Bd. I. 3. Heft.)

Die Contrasterscheinungen, insbesondere diejenigen, welche sich bei Anwendung von Farben zeigen, sind zwar schon vielfach erörtert worden. Trotzdem werden die folgenden Untersuchungen Demjenigen nicht überflüssig erscheinen, der mit den bisher erhaltenen Resultaten und den daraus gezogenen Folgerungen einigermaßen bekannt ist. Schon der Umstand, dass in der Erklärung der Contrasterscheinungen immer noch eine rein psychologische und eine rein physiologische Theorie einander gegenüberstehen, dass man also diese bald allein gewissen Thätigkeiten des menschlichen Geistes, bald nur der Beschaffenheit der Netzhaut zuschreibt, dürfte darauf hinweisen, dass die Untersuchung noch in manchen Beziehungen unzureichend ist. In der That sind die quantitativen Bedingungen des Contrastes im Gegensatz zu den qualitativen bis jetzt verhältnissmäßig wenig gewürdigt worden. Auf Anregung von Hrn. Prof. Wundt übernahm ich es daher gern in der zweiten Hälfte des Jahres 1881, vermittelst möglichst genauer und umfangreicher Experimente diesen Gegenstand näher zu untersuchen. Es handelte sich dabei insbesondere um die Frage, in welchen Beziehungen die Contrastfarbe zum Sättigungsgrade der inducirenden Farbe steht. In dem ersten und zweiten Theil der folgenden Arbeit sollen die Methode und Resultate der Untersuchung mitgetheilt werden, während der dritte sich mit den Folgerungen beschäftigen wird, welche sich aus den gefundenen Beziehungen für die Theorie der Lichtempfindungen ergeben.

1. Die Methode der Versuche.

Bei einer Untersuchung der quantitativen Eigenschaften des Contrastes wird diejenige Methode am empfehlenswerthesten sein, welche die Erscheinungen deutlich sichtbar macht und zugleich eine genaue quantitative Abstufung derselben sowie ihrer Bedingungen gestattet. Zugleich wird es nothwendig sein, dass die Nachbilder, welche von Chevreul als successiver Contrast bezeichnet werden, so viel als möglich ausgeschlossen bleiben. Hering[1]) beschränkte sich aus diesem Grunde und in der Meinung, dass seine Resultate auch auf Farben Anwendung finden würden, auf die Untersuchung der Erscheinungen des Helligkeitscontrastes vermittelst der Fixation von Nachbildern. Diese glaubte er um so mehr bevorzugen zu müssen, als jeder Laie dieselben mit der größten Leichtigkeit anstellen könne. Dagegen möchte ich zu bedenken geben, dass wenig Laien die Geduld haben werden, alle seine Versuche durchzuführen, und nicht alle in der Lage sind, ihren Augen minutenlange Fixationen zuzumuthen. Hering sagt ja selbst[2]): »Der Geübte sieht freilich mehr als der Anfänger, aber die Hauptsachen sieht auch der Anfänger sogleich, wenn er nur einigermaßen zu beobachten weiß«, d. h. eben, wenn er geübt im Beobachten ist.

Bei meinen Experimenten nahm ich den Farbenkreisel zu Hilfe, dessen Anwendung keinerlei Uebung im Beobachten voraussetzt. Da ich sehr große Scheiben benutzte — die größten hatten einen Radius von 10 cm —, so konnte ich das Contrastfeld, welches im Allgemeinen die Gestalt eines Ringes hatte, stets so breit herstellen, dass Nachbilder vermieden wurden. Die rotirenden Scheiben haben ebenso wie die Nachbilder, den Vortheil, dass sie die Unebenheiten des Papiers dem Auge entrücken und dadurch eine gleichmäßige Farbe herstellen; was sie aber vor jenen auszeichnet, ist offenbar der Umstand, dass sie jede Abstufung von Grau zu benutzen und die Sättigung einer Farbe ganz nach Belieben zu variiren gestatten. Dadurch setzen sie uns in den Stand, auch die quantitativen Verhältnisse des Contrastes mit der größten Genauigkeit zu untersuchen.

---

1) Zur Lehre vom Lichtsinn, Wien 1878. 6 Mittheilungen.
2) 2. Mittheilung, S. 28.

Schon beim Helligkeitscontrast kann man mit rotirenden Scheiben die Versuche in gewissem Grade quantitativ anordnen. Zu diesem Contrast sind die Erscheinungen zu rechnen, welche unter dem Namen der Mach'schen Ringe bekannt sind.[1]) Dieselben beschränken sich naturgemäß nicht nur auf den Contrast von Schwarz und Weiß, sondern kommen auch zum Vorschein, wenn man irgend eine Farbe benutzt, indem man, je nachdem diese hell oder dunkel ist, einen schwarzen oder weißen oder auch nur einen dunkleren oder helleren Grund wählt. Dass bereits bei diesen Versuchen eine Art quantitativer Bestimmung anwendbar ist, hat Mach an seiner in den Text gedruckten Figur 5 mit Hilfe eines rotirenden Cylinders gezeigt. Fast noch besser könnte sie mit einer seiner Scheiben (Taf. I, Fig. I^b) geschehen. Lässt man eine Scheibe von der Beschaffenheit, wie sie Fig. 1 zeigt, rotiren und nimmt man der Einfachheit halber an, dass die innere Fläche sowie die Zacken weiß, die Umgebung dagegen schwarz sei, so wird die Kreisfläche mit Radius $= \alpha\beta$ in reinem Weiß, der von den beiden Kreisen $\beta_1\beta_2\beta_3\ldots$ und $\gamma_1\gamma_2\gamma_3\ldots$ eingeschlossene Ring in einem hellen, von β nach γ dunkler werdenden Grau erscheinen und der äußere Ring in noch dunklerem bis zu Schwarz zunehmendem Grau. In Wirklichkeit ist bei Rotation die innere Kreisfläche nicht vollständig weiß, und bei β und γ werden die drei genannten Flächen durch zwei sehr gut sichtbare helle Ringe getrennt, welche bei der in der Figur bezeichneten Lage von ziemlich gleicher Intensität sind. Wird das Weiß mit Schwarz und umgekehrt vertauscht, so erscheinen natürlich zwei dunkle Ringe.

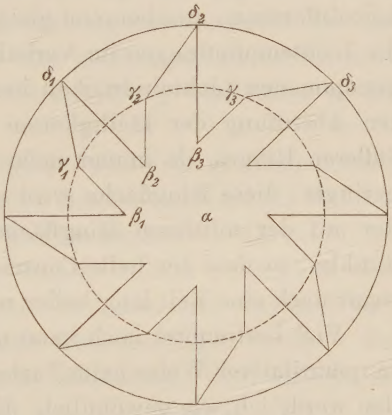

Fig. 1.

Fertigt man sich nun verschiedene solche Scheiben an, auf denen die Punkte γ auf der Peripherie des Kreises mit $\alpha\gamma$ als Radius im Sinne des Uhrzeigers verschoben sind, so wird der helle (resp. dunkle)

1) Sitzungsber. der Wiener Acad. Math.-naturw. Cl. Bd. 52, p. 303.

Ring bei γ weniger bemerkbar, wenn $\measuredangle \beta\gamma\delta$ stumpfer wird, er verschwindet, wenn $\measuredangle \beta\gamma\delta = 2R$, und wird ferner dunkler (resp. heller), wenn $\measuredangle \beta\gamma\delta > 2R$, während der Ring bei β heller (resp. dunkler) wird. Das Umgekehrte entsteht, wenn man γ nach der andern Seite rücken lässt. Dann verschwindet der Ring bei β allmählig, während der bei γ immer heller wird. Man sieht also, dass hier beim Helligkeitscontrast eine quantitative Bestimmung im Allgemeinen durchführbar ist.

Ein bemerkenswerthes Resultat erhält man schon aus diesen Versuchen. Die Ringe erscheinen in Folge des Contrastes der neben einander befindlichen verschiedenen Helligkeitsgrade. Dass nun die beiden Ringe bei der in der Figur bezeichneten mittleren Lage von γ von gleicher Intensität erscheinen, obgleich absolut die Helligkeiten in den beiden Fällen ganz verschieden sind, dürfte, da die Helligkeitsdifferenzen anscheinend gleiche sind, darauf hinweisen, dass wir die Lichtempfindungen im Verhältnisse zu anderen gleichzeitig wahrgenommenen Lichteindrücken bestimmen. Bei der zuletzt angeführten Abstufung der Helligkeiten wird die absolute Dunkelheit des äußeren Ringes, da immer mehr Schwarz durch Weiß ersetzt wird, geringer; diese Ringfläche wird aber relativ, d. h. im Verhältniss zu der auf der mittleren Ringfläche schnell zunehmenden Helligkeit, dunkler, so dass der helle Contrastring zwischen den beiden Flächen sogar noch eine Zeit lang heller werden kann.

Viel bestimmter noch kann man die Bedingungen des Contrastes in quantitativer Weise beim Farbencontrast untersuchen. Im Folgenden werde ich, wie gewöhnlich, diejenige Farbe die inducirte nennen, welche durch eine andere beeinflusst wird, diejenige dagegen, welche den Einfluss ausübt, die inducirende. Da nun ein farbloses Object am wenigsten einen benachbarten Farbenton verändern, andererseits aber von demselben am meisten beeinflusst werden kann, so wird ein guter Farbencontrast entstehen, wenn wir als inducirte Farbe Weiß, Grau oder Schwarz, als inducirende einen möglichst reinen Farbenton wählen. Dies ist im Allgemeinen die Methode, welche bereits von Helmholtz[1]) zur Darstellung von Contrasterscheinungen am

1) Phys. Optik, p. 411.

Farbenkreisel angewandt worden ist. Man verfertigt sich Scheiben mit mehreren farbigen und weißen Sectoren. Jeden farbigen Sector versieht man mit einem schwarzen Zwischenstück, so dass bei der Rotation ein grauer Ring entsteht. Lässt man eine solche Scheibe rotiren, so bewirken die weißen und farbigen Sectoren einen gleichmäßigen Farbenton, welcher heller als die Farbe der einzelnen Sectoren erscheint, die schwarzen Zwischenstücke ergeben durch die Mischung mit Weiß einen Ring, der in Folge der Induction des zu beiden Seiten befindlichen Farbentons in der Complementärfarbe zu demselben gesehen wird. Die qualitativen Eigenschaften des Farbencontrastes ergeben sich, wenn man die Sectoren von verschiedener Farbe wählt, also den inducirenden Farbenton variirt, die quantitativen, wenn die Breite der Sectoren und der schwarzen Zwischenstücke verändert wird. Uns interessirt hier nur die Frage, in welcher Weise sich die Sättigung der Contrastfärbung mit der Breite der farbigen Sectoren einerseits und der der schwarzen Zwischenstücke andrerseits ändert. Der Gang der Untersuchung wird daher in der Hauptsache folgender sein.

Nehmen wir eine Serie von Scheiben mit einer gewissen Anzahl farbiger Sectoren, welche stets dieselbe Breite, ausgedrückt in einer bestimmten Anzahl von Graden, besitzen, so können wir die Breite der schwarzen Zwischenstücke bei jeder Scheibe anders wählen, so dass der bei Rotation entstehende Ring ohne Induction nach und nach jede Nuance von Grau zwischen Weiß und Schwarz zeigen würde. Bei einer bestimmten Breite der schwarzen Mittelstücke wird alsdann die Contrastfarbe eben merklich werden, bei einer anderen wird sie das Maximum der Sättigung erreichen und bei einer dritten eben wieder verschwinden. Bei einer anderen Serie von Scheiben, mit einer anderen Breite der farbigen Sectoren, wird sich auch die Breite der schwarzen Zwischenstücke für die drei genannten Abstufungen der Contrastfarbe ändern und es wird sich im Folgenden darum handeln, das Verhältniss zu bestimmen, in welchem jedesmal die Breite der farbigen Sectoren zu der Breite der schwarzen Zwischenstücke stehen muss, damit diese drei bemerkenswerthen Abstufungen zum Vorschein kommen. Eine andere Frage wird sein, in welcher Weise sich das Maximum des Contrastes mit der Breite der farbigen Sectoren ändert.

Um die Farben, mit welchen die Versuche angestellt wurden, ge-

nau angeben zu können, habe ich mich der von Chevreul[1]) eingeführten Bezeichnungsweise bedient, die bereits Brücke in seiner Abhandlung »Über Ergänzungs- und Contrastfarben«[2]) benutzt hat. Es sei kurz erwähnt, dass Chevreul 10 Farbencirkel sehr sorgfältig anfertigen ließ; auf den ersten Farbenkreis wurden nur gesättigte Farben aufgetragen, auf den zweiten die gesättigten Farben mit $^1/_{10}$ Schwarz gemischt, auf den dritten dieselben mit $^2/_{10}$ Schwarz, auf den zehnten dieselben mit $^9/_{10}$ Schwarz. Jeder Farbencirkel ist in 72 Sectoren getheilt und die Hauptfarben sind im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers bezeichnet mit: Violet 0, Violet-Roth 0, Roth 0, Roth-Orange 0, Orange 0, Orange-Gelb 0, Gelb 0, Gelb-Grün 0, Grün 0, Grün-Blau 0, Blau 0, Blau-Violet 0, Violet 0. Die successiven Farbenübergänge sind benannt mit 1, 2, 3, 4, 5, also: z. B. Violet 0, 1, 2, 3, 4, 5, Violet-Roth 0, 1, 2, 3, 4, 5, Roth 0 etc. Da ich die Farben so rein wie möglich wählte, so ließen sie sich alle nach dem ersten Farbencirkel, welcher die gesättigten Farben (couleurs franches) enthält, auswerthen. Demgemäß benutzte ich folgende Farben: Roth-Orange 5, Orange 0, Orange-Gelb 4, Gelb-Grün 0, Gelb-Grün 5, Grün 0, Grün 5, Blau 0, Violet 0 und Violet-Roth 0. Die meisten Versuche stellte ich an mit Orange-Gelb 4, Grün 0, Blau 0 und Violet-Roth 0 (Purpur), doch ist zu bemerken, dass die letzten 3 Farben intensiver sind als die Chevreul'schen. Sie lassen sich gut mit denjenigen Farben vergleichen, welche der Mechaniker R. Rothe in Prag für seine nach Hering's Angaben gefertigten Scheiben benutzt. Die grüne Farbe liegt zwischen dem Grün der Scheibe No. 4 und dem der Scheibe No. 5 und scheint mir noch reiner zu sein; die blaue Farbe nähert sich dem Blau der Scheibe No. 8, ist aber etwas heller, die violet-rothe nähert sich dem Purpur der Scheibe No. 10. Außerdem deckt sich die Farbe der Scheibe No. 2 mit meinem Orange.

Wollte man sich Scheiben anfertigen, wie sie Helmholtz angibt[3]), so hätte man für jede Breite der farbigen Sectoren eine Anzahl von Scheiben nöthig mit verschiedener Breite der schwarzen Zwischenstücke. Nimmt man 9 verschiedene Breiten der farbigen

1) Exposé d'un moyen de définir et de nommer les couleurs d'après une méthode précise et expérimentale, Paris 1861, auch: Mém. de l'acad. des sciences de l'inst. de France, tome XXXIII.

2) Wiener Sitzungsber. April 1865. 3) Phys. Opt. p. 411.

Sectoren und 9 verschiedene Breiten der schwarzen Zwischenstücke, so würden bei einem genauen Verfahren für eine einzige Farbe 81 Scheiben nöthig sein. Jede derartige Scheibe kann man jedoch aus drei verschiedenen, auf einander gelegten Scheiben zusammensetzen, wodurch die Anzahl der erforderlichen Scheiben sehr verringert wird. Man befestigt zuerst eine Scheibe mit farbigen Sectoren an den Rotationsapparat, steckt davor eine kleinere Scheibe mit schwarzen Sectoren und schließlich vor diese die kleinste Scheibe mit gleichen farbigen Sectoren, wie die auf der größten Scheibe. Auf diese Weise ist zugleich die Möglichkeit gegeben, auch die Untersuchung derjenigen Erscheinungen vorzunehmen, welche durch Induction verschiedener Farben auf dasselbe Contrastfeld entstehen. Da ich die Breite der Sectoren, deren ich stets vier wählte, von 10 zu 10 Grad variirte, wobei kein Sprung in der Aufeinanderfolge der Sättigungsgrade zu bemerken war, so hatte ich von jeder Art von Scheiben und für jede Farbe neun verschiedene herzustellen, so dass resp. 40°, 80°, 120° u. s. w. bis 360° der Scheibe mit der betreffenden Farbe bedeckt waren. Um aber an zwei Rotationsapparaten die verschiedenen Contrastfärbungen vergleichen zu können, verfertigte ich von jeder Scheibe zwei Exemplare. Den Scheiben mit schwarzen Sectoren fügte ich noch eine solche mit im Ganzen 20° Schwarz hinzu, und außerdem eine schwarze Halbscheibe, mit deren Hilfe noch zwischen Schwarz (360°) und dem letzten Grau (320°) eine Abstufung möglich war. Dies war nöthig, damit der Uebergang von Weiß zu Grau und von Grau zu Schwarz nicht zu plötzlich eintrat. Die Breite des Contrastringes konnte dadurch variirt werden, dass von den kleinsten Scheiben drei verschiedene Größen benutzt wurden. Die größten farbigen Scheiben wurden mit einem Radius gleich 10 cm genommen; die schwarz-weißen Scheiben erhielten einen Radius = 7 cm, die kleinsten farbigen Scheiben Radien von resp. 5 cm, 4 cm und 3 cm. Im Folgenden werden wir die verschiedenen Arten von Scheiben bezeichnen mit: No. 1 ($r = 10$ cm), No. 2 ($r = 7$ cm), No. 3 ($r = 5$ cm), No. 4 ($r = 4$ cm) und No. 5 ($r = 3$ cm).[1] Nur die Scheiben No. 2 haben schwarze Sectoren, die übrigen farbige.

1) Die Scheiben Nr. 1 ($r = 10$ cm) haben dieselbe Größe, wie die von R. Rothe in Prag verfertigten »großen« Scheiben, die Scheiben No. 3 ($r = 5$ cm) entsprechen seinen kleinen Scheiben ($r = 5\frac{1}{2}$ cm).

Die Anzahl der Scheiben lässt sich auch auf je zwei von derselben Größe reduciren. Man schneidet zu diesem Zwecke eine volle weiße Scheibe in der Weise, wie es die in Fig. 2 ausgezogenen Linien andeuten, mit der Scheere auf. Ganz in derselben Weise behandelt man eine vollständig schwarze resp. farbige Scheibe. Dann dreht man die weiße Scheibe, beide Seiten als weiß vorausgesetzt, um und schiebt sie in die schwarze resp. farbige Scheibe hinein, so dass je vier gleiche Sectoren weiß und schwarz, resp. weiß und farbig entstehen. Legt man z. B. die weiße Scheibe zu unterst, so kann man durch allmähliges Uebereinanderschieben der aufgeschnittenen Theile die Farbe successive mit mehr und mehr Weiß mischen. Wenn man noch eine dritte nach Graden eingetheilte Scheibe hinter die beiden Scheiben steckt oder die genannten Scheiben selbst auf der Rückseite graduirt, so kann man stets ebenso genau, wie oben bei der großen Anzahl von Scheiben, das Mischungsverhältniss von Farbe und Weiß angeben. Besonders für eine schnelle Veranschaulichung des allgemeinen Resultats ist diese Methode sehr geeignet. Verschiedene Versuche habe ich auf solche Weise durchgeführt. Auch zeigte sich hierbei, dass zwei von meinen Farben, Violet-Roth 0 (Purpur) und Grün 0 so einander complementär waren, dass sie bei fast gleicher Sectorenbreite ein helles Grau ergaben. Da es mir aber daran lag, den Contrast auch für den Fall zu untersuchen, wo das Grau sich nicht nur über einen Ring, sondern über die ganze Innenfläche ausdehnt, so musste ich für die Hauptuntersuchungen diese einfachere Methode verlassen. In diesem Falle müssen nämlich die kleinsten farbigen Scheiben entfernt werden und es entsteht bei der zweiten Methode in der Mitte der Scheiben No. 2 innerhalb des in der Figur 2 angedeuteten kleinen Kreises, je nachdem die Scheiben auf einander gelegt werden, eine vollständig weiße oder schwarze Kreisfläche, da die Scheiben mit $r =$

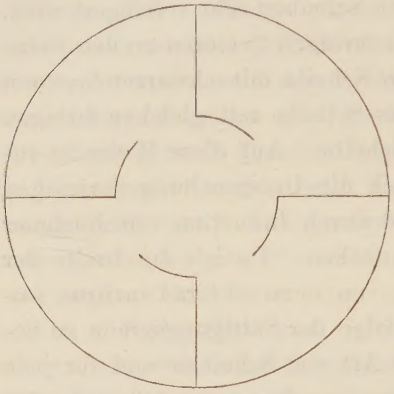

Fig. 2.

7 cm aus je einer weißen und einer schwarzen Scheibe zusammengesetzt sind. Nimmt man diesen Kreis sehr klein, so verliert die Scheibencombination an Steifheit und Zusammenhalt; wählt man aber dickere Scheiben, so werden, wie wir später sehen werden, dadurch die Erscheinungen beeinträchtigt.

Um die farbigen und schwarzen Sectoren stets mit demselben Farbentone und mit gleichmäßiger Intensität herzustellen, nahm ich mattes farbiges Papier, unter dem Namen »Körperpapier« im Handel bekannt. das ich auf Scheiben von weißem Cartonpapier in geeigneter Weise aufklebte. Auf diese Weise ließ sich eine ganze Reihe von Scheiben sehr schnell anfertigen. Außerdem stellte ich die Versuche stets zur Mittagszeit an, um die Beleuchtung möglichst gleichartig zu erhalten. Endlich experimentirte ich nie länger als eine Stunde, um den Einfluss der Ermüdung der Augen zu vermindern.

2. Die Resultate der Versuche.

Bei den ersten Versuchen nahm ich nur Scheiben No. 1 und No. 2. Dadurch entstand bei Rotation in der Mitte der Scheibe durchweg eine graue Färbung, abgesehen von einer Kreisfläche mit Radius = 1 cm, welche durch die Messingmutter. mit der die Scheiben festgehalten wurden, bedeckt war. Da der Gedanke nahe lag zu untersuchen, ob die bei Rotation entstehende Contrasterscheinung sich über die ganze Innenfläche oder nur über einen Theil derselben ausbreite, so wurden die schwarz-weißen Scheiben anfangs mit sehr feinen, 1 cm von einander abstehenden concentrischen Kreisen versehen. Als sich keinerlei Abstufung der Contrastfärbung ergab, wurden die Kreise entfernt und vor die Scheibe eine nach Millimetern getheilte Scala gehalten. Aber auch auf diese Weise zeigte sich. dass die Induction der äußeren Farbe groß genug war, um eine gleichmäßige Färbung zu induciren. Dasselbe war der Fall, wenn man statt von außen von innen die Farbe induciren ließ, indem man anstatt der großen farbigen Scheiben No. 1 die kleineren No. 3 bis 5 nahm und vor die schwarz-weißen No. 2 steckte.

Nach diesen Voruntersuchungen wurde die Variation der Sectorenbreiten vorgenommen. Es wurde auf jeden der beiden Rotationsapparate eine Scheibe No. 1 mit zunächst je 10° Farbensector (40° Farbe

und 320° Weiß) gesteckt; dann wurden sie abwechselnd nach und nach mit Scheiben No. 2 von 0°, 5°, 10° u. s. w. bis 90° Sectorenbreite Schwarz bedeckt und die successive erscheinenden Contrastfärbungen mit einander verglichen. Dasselbe geschah mit einem Scheibenpaare No. 1 mit je 20° Farbensector (80° Farbe und 280° Weiß) u. s. w. Der von außen inducirende Farbenring hatte demnach stets 3 cm Breite, die Contrastfärbung war auf der ganzen inneren Kreisfläche von $r = 7$ cm sichtbar, außer auf der Stelle, wo die Messingmutter von $r = 1$ cm sich befand. Die Resultate der vergleichenden Versuche lassen sich in folgende Tabelle zusammenfassen, in welcher jede verticale Reihe eine Versuchsreihe repräsentirt.

	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	Inducirendes Feld.
0°	schwach	schwach	ganz schwach	ganz schwach						
5°			schwach	schwach	ganz schwach	ganz schwach				
10°	stark				bemerk-					
20°	stark	stark			bar					In-
30°		stark	stark			schwach bemerk- bar	ganz schwach			ductions-
40°			stark	stark			schwach	schwach		oder
50°				stark	stark				bemerk- bar	
60°	schwach					stark				Contrast-
70°	ganz schwach	schwach	schwach				stark	stark		feld-
80°			schwach	ganz schwach	kaum bemerk- bar				stark	färbung.
83°						ganz schwach	ganz schwach	schwach		
86°								ganz schwach	schwach	
90°									mit- unter schwach	

Diese Tabelle ist speciell für Violet-Roth oder Purpur als inducirende Farbe aufgestellt worden. Dieselben Versuche führte ich vollständig auch für Grün 0, Blau 0 und Orange-Gelb 4 durch; die für diese Inductionsfarben erhaltenen Tabellen zeigen jedoch so wenig Abweichungen von der hier mitgetheilten, dass es unnöthig ist, sie besonders anzuführen.

Es geht zunächst aus der Tabelle hervor, dass wir neben einer bestimmten Sättigung einer Farbe nicht bei jeder beliebigen Abstufung von Grau eine gleichstarke Contrastwirkung erhalten. Denn neben einem sehr hellen Farbentone erscheint auf Weiß und Hellgrau eine deutliche Contrastfarbe, während auf Dunkelgrau keine Spur davon zu entdecken ist; andrerseits wird Weiß und Hellgrau von einem gesättigten Farbentone gar nicht inducirt, Dunkelgrau dagegen ganz merklich chromatisch geändert. Im Speciellen aber ist ersichtlich, dass ziemlich in demselben Verhältniss, wie die Sättigung der inducirenden Farbe wächst, das inducirte Grau sich dem Schwarz nähern muss, damit man eine möglichst intensive Contrastfarbe erhalte. Dies bedeutet jedenfalls, dass die Helligkeit der inducirten Farbe angenähert dieselbe sein muss, wie die der inducirenden.

Da man bei diesen Versuchen als Maximum des Contrastes diejenige Contrastfärbung zu bezeichnen hat, welche am wenigsten das ursprüngliche Grau zeigt, so ist ohne Weiteres klar, dass die Maxima unter einander sehr verschieden sein werden. In der That beeinflusst der genannte Umstand, dass bei gesättigteren inducirenden Farben das Contrastfeld viel mehr verdunkelt werden muss, die Deutlichkeit der Contrastfarbe. Die Maxima, welche durch hellere Farbentöne entstehen, sind viel schöner und deutlicher als die durch intensivere Farben erzeugten; diese sind naturgemäß viel dunkler und haben stets eine Beimischung von Grau.

Betrachtet man die Tabelle, so sieht man, dass die Anzahl der Helligkeitsstufen des grauen Contrastfeldes, innerhalb welcher Contrastfärbung bemerkbar ist, mit der Sättigung der inducirenden Farbe kleiner wird, wenn man die Abstufungen von Grad zu Grad rechnet. Während in der ersten Versuchsreihe die Sectorenbreite des Schwarz von 0° bis ca. 70° zunehmen kann, ist in der letzten Reihe die Contrastfärbung nur innerhalb 50° bis ca. 85° Sectorenbreite sichtbar. Schon dies weist darauf hin, dass die Contrastwirkung im letzten Falle

nicht so ansteigen kann, wie im ersten. Bei meinen Versuchen erhielt ich nicht, wie man annehmen könnte, eine um so bessere Contrastfarbe, je intensiver die inducirende Farbe war, sondern im Gegentheil eine viel undeutlichere. Am günstigsten war eine mäßige Sättigung, bei welcher der inducirende Farbenton zwar hell, aber deutlich erscheint.

Diese Thatsache, welche bereits durch den Meyer'schen Versuch bekannt ist, hebe ich hier hervor, weil A. Rollett in seiner Abhandlung »Zur Physiologie der Contrastfarben«[1] bemerkt: »Man begegnet nicht selten der Annahme, dass gesättigte Farben sich für die Erzeugung von Contrastfarben weit weniger eignen als weißliche Farben, was nicht der Fall ist, wenn man nur neben der gesättigten Farbe, die möglichst lichtstark sein muss, die übrigen Bedingungen richtig wählt.« Diese Behauptung hat er aber keineswegs bewiesen. Denn aus der Anordnung seiner Versuche geht hervor, dass er die von weißlichen und die von gesättigten Farben inducirten Contrastfarben so gut wie gar nicht vergleicht.

Rollett stellte seine Untersuchungen mit vier farbigen, einem weißen und 7 grauen Gläsern an. Die letzteren verglich er mit dem Grau, wie es durch meine Scheiben No. 2 erscheint, und fand sie äquivalent 100°, 160°, 212°, 246°, 280°, 294° und 315° Schwarz. Mit diesen Gläsern konnte er vermöge eines sinnreichen, aber complicirten Apparates bei constanter inducirender Farbe das Contrastfeld variiren und auf diese Weise Versuche ähnlich den meinigen, aber nicht so regelmäßig und umfangreich durchführen. Durch Reflexion des Tageslichtes von einem weißen und verschiedenen grauen Papieren auf seine farbigen Gläser mischte er ferner die vier Farben mit Weiß und verschiedenem Grau und ließ die so veränderten Farben wiederum auf das Grau der grauen Gläser einwirken. Man ersieht nun leicht, dass nur durch das vom weißen Papier reflectirte Licht ein weißlicher Farbenton hergestellt werden kann; durch das von den grauen Papieren reflectirte Licht können nur Farbentöne entstehen, welche mit verschiedenem Grau gemischt sind. Indem nun Rollett nur die letzteren Farbentöne benutzte, verglich er nur die von mehr oder weniger verdunkelten Farben inducirten Contrastfärbungen. Von

1) Wiener Sitzungsber. Bd. LV. II. Abth. p. 743.

diesen werden wir aber allerdings später sehen, dass sie bei richtiger Wahl des Contrastfeldes ganz leidliche Contrastwirkungen hervorbringen können.

Ferner erhält man durch Licht, das durch farbige Gläser hindurchscheint, schwerlich Farben von solcher Sättigung, wie vermittelst farbiger Papiere. Dies erscheint mir um so wahrscheinlicher, als ich bei der Vergleichung der von Rollett beschriebenen Contrastwirkungen mit den von mir erhaltenen finde, dass seinem gesättigten Grün bei meinen Versuchen ein Grün entspricht, welches am Farbenkreisel durch Mischung des von mir benutzten Grün 0 mit einigen Graden Weiß entsteht. Wenn Rollett schließlich noch behauptet, dass die Versuche mit farbigen Gläsern solchen mit Papierscheiben vorzuziehen seien, weil sie viel besseren Contrast liefern, so ist dagegen der schwerwiegende Uebelstand hervorzuheben, dass jene Methode nicht verschiedene Sättigungsgrade einer Farbe durch Zumischung verschiedener Quantitäten von reinem Weiß oder von einem bestimmten Grau oder von Schwarz herzustellen vermag. Wenn aber auch eine einigermaßen gesättigte Farbe unter Umständen Contrastfärbung hervorruft, so können doch, wie man beim Farbenkreisel sieht, weißliche Farbentöne noch bessere Contrastwirkung haben. Dies kann jene Methode nicht entscheiden, weil sie die verschiedenen Sättigungsgrade nicht so exact, wie die hier angewandte, herstellen kann. Abgesehen hiervon ist offenbar auch deswegen der Farbenkreisel geeigneter, die Contrastwirkung zu variiren, weil man mit demselben jeden beliebigen Ton von Grau und der betreffenden Farbe sich verschaffen kann, während die grauen Gläser ziemlich unregelmäßig die verschiedenen Farbentöne ergeben. Die oben dargelegte Regelmäßigkeit in der Abhängigkeit der Contrastfärbung von dem Sättigungsgrade der inducirenden Farbe wird übrigens im Allgemeinen nicht von der mehr oder weniger guten Contrastwirkung abhängen, welche die betreffende Methode gestattet, da alle Contrasterscheinungen in gleichem Verhältniss verändert sein werden. Dieser eigentlich selbstverständliche Satz wird auch durch meine ferneren Versuche bestätigt.

Bisher hatte ich nur je zwei Scheiben combinirt, in Folge dessen das Contrastfeld sich über die ganze Innenfläche der Scheibe erstreckte. Steckt man nun vor Scheibe No. 2 noch eine kleinere Scheibe

No. 5, 4 oder 3 mit gleichbreiten und gleichfarbigen Sectoren, wie auf den Scheiben No. 1, so erhält man als Contrastfeld einen Ring, der resp. 4, 3 oder 2 cm Breite besitzt. Hier wird von beiden Seiten, von innen und von außen, das Contrastfeld inducirt und in Folge dessen eine bessere Contrastwirkung hervorgebracht, um so besser, je schmäler der Ring ist. Doch ist zu beachten, dass die Breite des Ringes nicht unter 2 cm abnehmen darf, damit Nachbilder vermieden werden. Nimmt man eine Scheibe No. 1 und eine No. 5 mit farbigen Sectoren von gleicher Anzahl von Graden, so kann man den inducirenden Farbenton constant erhalten und das Contrastfeld wie früher variiren, indem man die verschiedenen schwarz-weißen Scheiben No. 2 nach und nach alle dazwischen bringt. Dann verfährt man ebenso bei zwei Scheiben No. 1 und 5 mit breiteren farbigen Sectoren u. s. w. Die Combinationen von Scheibe No. 1, No. 2 und No. 4 und von No. 1, No. 2 und No. 3, wobei der Ring immer enger wird, ergeben ähnliche Versuchsreihen. Führt man einige Versuchsreihen durch, so ersieht man, dass bei schmälerem Contrastringe zwar der Contrast intensiver, aber die frühere Regelmäßigkeit nicht alterirt wird. Es wird daher genügen, eine Versuchsreihe herauszugreifen und in folgender Tabelle zu veranschaulichen.

	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	Inducirende Farbe.
Eben bemerkbar.	0°	0°	0°-5°	0°-5°	5°	5°-10°	10°-20°	30°	40°	Inducirte Farbe.
Am besten bemerkbar.	10°-20°	20°-30°	30°-50°	30°-60°	40°-60°	40°-60°	50°-70°	60°-70°	70°-80°	
Eben noch bemerkbar.	50°-60°	60°-70°	70°	70°-80°	80°	80°-85°	80°-85°	80° 90°?	85° 90°?	

Das Fragezeichen hinter 90° bedeutet, dass mir mitunter eine Contrastfärbung auf Schwarz vorgekommen ist. Aus dieser Tabelle, die vorzüglich für Purpur als inducirende Farbe durchgeführt wurde, ist ersichtlich, dass bei gehäufter Induction die Contrastfärbung im Allgemeinen etwas eher bemerklich wird. Die Versuche mit anderen Farben ergeben ganz analoge Resultate. Für Scheiben mit Sectoren

von je 20° Grün erhielt ich z. B. für die 3 Contrastgrade folgende Breiten der schwarzen Sectoren:

I. 5°—10°. II. 20°—30°. III. 70° (80°?);

für Scheiben mit blauen Sectoren von 30° und 40° Breite:

Breite der blauen Sectoren.	I.	II.	III.	Contraststufen.
30°	5°-10°	30°-40°	70°-80°	Breite der schwarzen Sectoren.
40°	5°-10°	30°-60°	80°	

Bisher wurden die Versuche so vorgenommen, dass einestheils die Helligkeit der inducirten Farbe variirt wurde, wobei sich die Helligkeitsstufen ergaben, bei denen die Contrastwirkung eben bemerkbar, am besten bemerkbar und eben noch bemerkbar war, und dass anderntheils die Sättigung der inducirenden Farbe abgeändert wurde, indem nach und nach immer mehr Weiß zur gesättigten Farbe hinzukam. Hierbei ergab sich, dass die Sectorenbreite der schwarzen und farbigen Sectoren ziemlich in demselben Verhältniss verändert werden musste, um die besten Contrastwirkungen hervorzubringen, und dass mäßig gesättigte inducirende Farben geeigneter sind als vollständig gesättigte.

Man kann nun auch die inducirende Farbe durch Mischung mit Grau und Schwarz verdunkeln. Da bereits Rollett, wie oben erwähnt, vielfache Versuche mit verdunkelten Farben angestellt hat, so kann ich mich im Folgenden kurz fassen. Zunächst will ich zeigen, wie man diese Versuche am Farbenkreisel genau so durchführen kann, wie mit Gläsern.

Um nicht eine allzu große Zahl von Scheiben anfertigen zu müssen, bediente ich mich hier der oben (S. 8) an zweiter Stelle beschriebenen Scheiben. Ich nahm eine volle farbige Scheibe No. 1 und eine solche No. 3, 4 oder 5 und schnitt sie, wie oben angegeben, auf. Dasselbe geschah mit je einer vollen weißen und schwarzen Scheibe von den genannten Größen. Unter die farbige Scheibe No. 1 legte ich die weiße Scheibe No. 1 und schob sie in die erstere hinein, so dass vier farbige und vier weiße Sectoren von beliebiger Breite ent-

standen. Diese Combination legte ich auf die schwarze Scheibe von gleicher Größe und schob die ausgeschnittenen Theile zwischen die farbige und die weiße Scheibe hinein, so dass auf den weißen Sectoren noch vier schwarze Sectoren erschienen. Wurde nun die farbige und weiße Scheibe festgehalten und die schwarze gedreht, so wurden die weißen Sectoren allmählig immer mehr mit schwarzen bedeckt, bei Rotation erschien daher die betreffende Farbe zuerst mit Weiß wie in den ersten Versuchen, dann mit den verschiedenen Abstufungen von Grau und schließlich mit Schwarz gemischt. Hielt ich bei einer anderen Versuchsreihe die farbigen Sectoren mit andrer Breite constant, so erhielt ich wieder alle möglichen Verdunklungen u. s. w. Bei den mittleren farbigen Scheiben verfuhr ich ebenso und stellte die drei Scheiben stets in derselben Weise wie die drei großen Scheiben No. 1. Zur Herstellung des grauen Contrastfeldes kann man wie bisher die Scheiben No. 2 anwenden, oder nach der hier angegebenen Methode eine weiße und eine schwarze Scheibe No. 2 in einander schieben und gegen einander verdrehen.

Man erkennt leicht, dass auf diese Weise ganz dieselben Versuche wie die von Rollett angegebenen, nur viel genauer angestellt werden können. Jener kommt zu dem allgemeinen Resultat, »dass für die dunklere Farbe die Helligkeiten des Contrastfeldes, auf welchen eine deutliche chromatische Abänderung hervorgerufen wird, kleinere Werthe haben, als für die hellere, contrasterzeugende Farbe«. »Es ist«, sagt er ferner, »die obere Grenze herabgedrückt. Ein Weiß, welches neben der ersten Helligkeit einer Farbe noch deutlich subjectiv erscheint, ist neben der dunkelsten Stufe derselben nicht merklich chromatisch geändert«. Wirft man einen Blick auf die zuerst aufgestellte Tabelle (S. 10), so wird man dies für gesättigte und weißliche contrasterzeugende Farben bestätigt finden. Auch bei den dunkleren und helleren Farben ist nach meinen Versuchen diese Gesetzmäßigkeit vorhanden. Um das Gesetz aber genauer durch das Verhältniss der Sectorenbreiten auszudrücken, wird man sagen müssen:

In demselben Maße, wie die Breite der schwarzen Sectoren in der inducirenden Farbe zunimmt, muss die Breite der schwarzen Sectoren des Contrastfeldes über die Breite, welche sie vor Einmischung des Schwarzen in den ersten Versuchen erlangt hatten, vergrößert werden; mit anderen Worten: die weißen Sectoren der indu-

cirenden und der inducirten Farbe müssen ziemlich dieselbe Breite besitzen; die schwarzen Mittelstücke müssen demnach angenähert ebenso breit sein, wie die farbigen und schwarzen Sectoren in der inducirenden Farbe zusammen. Dies deutet aber auch hier darauf hin, dass der Farbencontrast am besten sichtbar wird, wenn der Helligkeitscontrast möglichst vermieden wird. Es sei noch erwähnt, dass sich bei meinen Versuchen fast gar kein Contrast zeigte, wenn ich die weißen Sectoren in der inducirenden Farbe ganz wegließ, die Farbe also nur mit Schwarz mischte, da alsdann das Contrastfeld fast schwarz gemacht werden musste, damit überhaupt eine chromatische Abänderung zu Stande kam.

Wenn auch bei dieser Anordnung der Versuche in gewissen Grenzen gute Contrastfärbung noch sichtbar ist, so kann man daraus gewiss noch nicht den Schluss ziehen, dass gesättigte Farben ebenso gute Contrastfärbung geben, wie mäßig gesättigte. Eine gesättigte Farbe muss möglichst rein und intensiv sein. Von dem Maximum der Sättigung ausgehend, wie es z. B. in den Spectralfarben angenommen wird, nimmt die Sättigung sowohl durch Zumischung von Weiß, wie durch die von Grau und Schwarz ab und zwar durch jene mehr als durch diese, da Grau und Schwarz geringere Intensitätsstufen von Weiß sind. Eine mit Grau gemischte Farbe kann man stets als weißliche Farbe ansehen, deren Intensität vermindert ist. Um den Wechsel der Intensität zu vermeiden, sollte man daher verschiedene Sättigungsgrade nur durch Zumischung von verschiedenen Quantitäten von Weiß herstellen. Jedenfalls wäre es zweckmäßig, die Sättigungsgrade nicht durch Zumischung von verschiedenem Grau, sondern durch Zumischung verschiedener Quantitäten desselben Grau zu bewerkstelligen, weil man nur in diesem Falle genau angeben kann, um wie viel eine Farbe gesättigter sei als die andere. Die zuletzt von mir angeführten Versuche sind nun den Rollett'schen angepasst und haben daher über die Contrastfärbung von mehr oder weniger gesättigten Farbentönen wenig ausgesagt. Will man auch hier die Abhängigkeit des Maximum der Contrastfärbung von der Sättigung der inducirenden Farbe genauer untersuchen, so hat man die schwarzen und weißen Scheiben zu gleicher Zeit zu verschieben, derart, dass in der inducirenden Farbe die weißen Sectoren stets in demselben Verhältnisse wie die schwarzen Sectoren breiter werden, wodurch successive verschie-

dene Quantitäten desselben Grau zugemischt werden. Die von gesättigteren Farben bewirkte Contrastfärbung ist auch hier nicht gesättigter als die von helleren herrührende, sondern nur dunkler, während die Contrastfarbe bei mäßig gesättigten inducirenden Farben sehr rein erscheint. Aus Allem geht aber hervor, dass besonders weißliche Farbentöne zur Contrasterzeugung geeignet sind, weil hier bereits bei einem ganz hellen Contrastfelde der Helligkeitscontrast vermieden und ein helles Feld naturgemäß zur Entwicklung einer reinen Contrastfärbung am günstigsten ist.

Durch die bisherigen Untersuchungen ist festgestellt worden, unter welchen Bedingungen die besten Contrasterscheinungen zu Stande kommen. Die Resultate, welche wir erlangt haben, können wir benutzen, um eine Reihe weiterer interessanter Versuche anzustellen. Haben wir bis jetzt nur eine Farbe auf das Contrastfeld einwirken lassen, so können wir nun weiter gehen und untersuchen, welche Erscheinungen zu Tage treten, wenn wir von zwei Seiten zwei verschiedene Farben induciren lassen. Dies ist leicht herzustellen, indem wir die größten Scheiben (No. 1) mit Sectoren der einen Farbe versehen, die kleineren Scheiben (No. 3, 4 oder 5) mit solchen der andern, so dass bei Rotation das Contrastfeld in Gestalt eines Ringes auf beiden Seiten von verschiedenen Farben inducirt wird. Schon früher (S. 9) habe ich darauf aufmerksam gemacht, dass die Färbung des Contrastfeldes, falls dasselbe nur von einer Seite inducirt wird, ganz gleichmäßig sich über die ganze graue Fläche ausbreitet. Bei den jetzigen Versuchen wird von beiden Seiten verschiedene Färbung über den ganzen grauen Ring hin inducirt, und es wird nahe liegen zu vermuthen, dass aus den Contrastfarben eine Mischfarbe entstehe. Dies hat sich bei meinen Versuchen nicht bestätigt. Im Gegentheil, wenn die Contrastfarben nur einigermaßen sich nicht zu nahe im Farbencirkel standen und daher, auf den beiden Rotationsapparaten neben einander erzeugt, unterscheidbar waren, so konnte man erkennen, dass die Farben sich neben einander lagerten und je nach der Intensität der beiden contrasterzeugenden Farben einen größeren oder kleineren Theil des Ringes bedeckten. Mit allen oben angeführten Farben habe ich solche Untersuchungen angestellt, wobei ich stets eine mittlere Sectorenbreite der Farben und des Schwarz wählte, um die Contrastwirkungen so deutlich wie möglich zu erhalten. Konnte

das Resultat auch bei Anwendung verwandter Farben zuweilen einem Zweifel unterliegen, weil ja dann auch benachbarte und daher schwer zu unterscheidende Contrastfarben entstanden, so blieb mir kein Zweifel daran, wenn ich Farben wählte, die einander complementär sind, wie Purpur und Grün oder Blau und Orange-Gelb 4. Dabei schienen mir Violet-Roth (Purpur) und Blau etwas breitere Streifen zu induciren als Grün und Gelb, jedenfalls weil jene ganz besonders intensiv waren. Am besten konnte ich die Nebeneinanderlagerung und eine ziemlich scharfe Grenze erkennen, wenn ich denjenigen Theil der Scheibe fixirte, welcher bei einer schiefen Stellung der Scheibe gegen das einfallende Tageslicht dem Fenster zugewandt war. Ließ ich dagegen den Blick über die ganze Scheibe hinwandern, so variirte die Grenze der Contrastringe und oft war das ursprüngliche Grau oder nur die von einer Seite inducirte Contrastfärbung sichtbar. Gerade bei diesen Versuchen lag der Gedanke nahe, dass das Contrastfeld eine durchgängig hellgraue oder weiße Färbung erhalten würde. Bei nicht complementären Farben hätte man dagegen den ganzen Contrastring oder wenigstens einen mittleren Ring in der Mischfarbe zu sehen erwarten sollen.

Bei Versuchen mit verschiedenen Breiten des Contrastringes fand ich die Combination der Scheiben No. 1 ($r = 10$ cm), No. 2 ($r = 7$ cm) und No. 4 ($r = 4$ cm) am günstigsten; das allgemeine Resultat bestätigte sich aber auch, wenn der Contrastring schmäler oder breiter gewählt wurde. Eine Ausnahme war nur zu bemerken, wenn der Contrastring sehr schmal genommen wurde. Um diesen Fall zu untersuchen, verfertigte ich mir 4 Scheiben von ca. 6,5 cm Radius und 4 andere von ca. 6,6 cm Radius. Zwei von den ersteren und zwei von den anderen hatten grüne Sectoren von 30° und 50° Breite, die anderen in gleicher Weise blaue. Mit den ersten vier Scheiben konnte ein Ring von etwa 5 mm Breite, mit den letzten vier ein solcher von etwa 4 mm Breite hergestellt werden, wenn man sie mit Scheiben No. 1 und No. 2 combinirte. Wurde der erste Ring von Grün (innen) und Purpur (außen) inducirt, so war die Nebeneinanderlagerung der Contrastfarben noch sichtbar. Beim zweiten 4 mm breiten Ringe ergab sich unter gleichen Umständen, dass die inducirenden Farben nach dem Contrastringe zu von einem intensiveren Ringe ihrer eigenen Farbe begrenzt waren, während der Ring in ähnlichen Farben wechselte und dabei spiegelnd

war.[1]) Bei Induction von Blau (innen) und Gelb (außen) war die letztere Erscheinung bereits bei dem 5 mm breiten Ringe sichtbar.

Aehnlichen Versuchen, wie die zuletzt beschriebenen, begegnet man außer in Wundt's Grundzügen der physiologischen Psychologie (p. 447) auch in der physiologischen Optik von Helmholtz (p. 412). Besonders folgender Versuch wird daselbst hervorgehoben. »Man klebe ein Blatt grünen und rosenrothen Papiers zusammen, so dass man ein Blatt erhält, welches zur Hälfte grün, zur Hälfte rosenroth ist. Am Orte der Grenzlinie zwischen beiden Farben befestige man ein Streifchen grauen Papiers und lege über das ganze ein ebenso großes Blatt dünnen Briefpapiers. Es wird nun der graue Streifen, wo er an das Grüne stößt, rosenroth, und wo er an Roth stößt, grün erscheinen, in seiner Mitte gehen die beiden Farben in einander über durch einen unbestimmten Farbenton, der wohl eigentlich Grau ist, aber doch nicht bestimmt von uns als solches anerkannt werden könnte.« Obwohl auf diese Art und Weise der Versuch nicht so genau, wie mit rotirenden Scheiben herzustellen ist, da das Grau nicht ebenso leicht passend gewählt werden kann, so ist doch, wie man sieht, ein ähnliches Resultat bemerkt worden.

Helmholtz gibt noch andere Versuche an, bei denen durch schwarze Linien entweder die inducirende Farbe von der inducirten getrennt oder das Contrastfeld in verschiedene Theile getheilt wird, und nennt als Grund der Thatsache, dass dann entweder gar kein Contrast entsteht oder derselbe sich nur bis zu der Grenzlinie hin erstreckt, diesen, dass wir die einander inducirenden Eindrücke alsdann auf gesonderte Objecte beziehen. Dass in der That der Contrast nicht entsteht, wenn die Farbe und das Grau auf gesonderten Gegenständen gesehen werden, bestätigte sich vollkommen durch einige Versuche. Auf eine schwarz-weiße Scheibe No. 2 mit 7 cm Radius legte ich eine kleinere von $5^1/_2$ cm Radius, welche nach der zweiten Methode aus zwei in einander geschobenen Scheiben, einer weißen und einer schwarzen, zusammengesetzt war. Diese beiden Arten von Scheiben allein auf einandergelegt ergaben, wenn die äußeren Sectoren schmäler waren als die inneren, bei Rotation zwei graue Ringe von ver-

1) Wundt, Grundz. der physiol. Psychol. Bd. I, p. 457.

schiedener Dunkelheit, aber innerhalb jedes Ringes war das Grau ganz gleichmäßig, während man in Folge des Randcontrastes ein abgestuftes Grau in jedem Ringe hätte erwarten sollen. Der Grund dafür war offenbar der, dass hier, wo die kleinere Scheibe sich nicht glatt an die größere anlegen konnte, auch bei Rotation die schwarzweißen Scheiben aufeinander gelegt, d. h. als zwei verschiedene Scheiben erschienen. Entsprechend gestaltete sich auch das Resultat, als ich von außen Grün vermittelst Scheibe No. 1 und von innen Purpur mit Scheibe No. 4 und später andere Farben induciren ließ. An der Grenze des Grün erschien eine röthliche Färbung der Scheibe No. 2 genau bis zur Peripherie der Scheibe mit 5,5 cm Radius, von da an bis zum inducirenden Purpur erschien eine grünliche Färbung des Contrastfeldes. Dies änderte sich auch nicht, wenn ich den grünlichen Contrastring verbreiterte (Scheibe No. 5 statt No. 4 nahm) oder verengerte (Scheibe No. 3 statt No. 4); jedesmal war die durch die Peripherie der kleineren Scheibe bezeichnete Grenze auf dem grauen Ringe auch die Grenze zwischen den beiden Contrastfarben. Diese Erscheinung beschränkte sich aber nicht bloß auf den Fall, dass die Ringe verschiedenes Grau besaßen, sondern war auch gut sichtbar, wenn sie gleiches Grau hatten, die Sectorenbreiten der beiden schwarz-weißen Scheiben also gleich waren. Auf diese Weise kann der Contrast überhaupt verhindert werden. Dadurch bestätigt sich aber, dass die Contrastfärbung, wenn die Farben gesonderten Objecten angehören, entweder ganz vermieden oder auf bestimmte Theile des Contrastfeldes beschränkt werden kann. Bekanntlich können an Scheiben, auf welchen die Farben durch schwarze Kreislinien getrennt sind, dieselben Erscheinungen gesehen werden. Unter Umständen kann auch bereits vorhandene Contrastwirkung ganz zum Verschwinden gebracht werden, indem man mit derselben Objecte vergleicht, welche die ursprüngliche Farbe des Contrastfeldes besitzen. Dass auch diese Thatsache sehr gut mit rotirenden Scheiben gezeigt werden kann, wird unten an geeigneter Stelle hervorgehoben werden.

3. Zur Theorie der Contrasterscheinungen.

Soll eine Theorie der Lichtempfindungen ihre volle Berechtigung haben, so muss sie auch die Contrasterscheinungen mit ihren qualitativen wie quantitativen Eigenschaften zu erklären im Stande sein. Treten wir mit dieser Forderung zunächst an die von Helmholtz durchgeführte psychologische Theorie heran, so bemerken wir, dass sie mancherlei Mängel besitzt. Da er die Empfindung als etwas Absolutes betrachtete, so sah er sich gezwungen, den so eigenartigen Contrastempfindungen eine Ausnahmestellung einzuräumen und sie von seinem einseitig psychologischen Standpunkte aus auf Urtheilstäuschungen zurückzuführen. Von verschiedenen Seiten ist diese Erklärungsweise mit Recht angefochten worden. Die quantitativen Eigenschaften, wie sie im zweiten Theile dargestellt wurden, sind mit einer solchen Erklärungsweise nicht in Einklang zu bringen. Eine ganze Reihe von Thatsachen wird dabei nicht genügend gewürdigt. Helmholtz war durch den Meyer'schen Versuch darauf hingewiesen, dass mäßig gesättigte Farben den Contrast am besten erzeugen, anderntheils erwähnt er selbst, dass bei Rotationsversuchen für einen gegebenen Farbenton dann der beste Contrast entsteht, wenn die Breite der schwarzen Zwischenstücke der Breite der Farbensectoren nahe kommt (Phys. Optik, p. 411). Dies lässt er aber fernerhin unbeachtet und betont dagegen bei dem Versuche von Meyer, eine durchsichtige farbige Decke scheine über das ganze Feld ausgebreitet zu sein, und die Anschauung ergebe nicht unmittelbar, dass sie auf der weißen (resp. grauen) Stelle fehle. Wir sollen demgemäß die Stelle in Wirklichkeit weiß sehen, da wir sie aber durch eine farbige Decke erblickten, so glaubten wir sie mit der complementären Farbe behaftet.

Wenn man nun wirklich das inducirte Feld durch eine farbige Decke zu sehen glaubte und die Erscheinung auf die genannte Art und Weise zu erklären wäre, so müsste man meinen, dass die Contrasterscheinungen stets am besten zu Stande kämen, wenn das inducirte Feld rein weiß gewählt wird, weil dann die zur inducirenden Farbe complementäre Farbe am reinsten zum Vorschein kommen müsste. Dass dies nicht der Fall ist, haben meine Versuche gezeigt; vielmehr muss, wie auch Helmholtz angegeben hat, das inducirte

Feld ziemlich in demselben Verhältniss verdunkelt werden, als die Sättigung der inducirenden Farbe zunimmt.

Aber auch ein anderer Schluss, zu denen man vom Standpunkte der Helmholtz'schen Theorie aus berechtigt wäre, wird nicht durch die Thatsachen bestätigt. Gesättigten Farben entsprechen gesättigte Complementärfarben. Nähme man also gesättigtere Farben, so müsste man dementsprechend auch gesättigtere inducirte Farben zu sehen glauben, und je gesättigter man die inducirende Farbe wählte, desto schöner und deutlicher müsste der Contrast erscheinen. Auch dies ist in der That nicht der Fall, sondern mit der Zunahme der Sättigung wird die Contrastfärbung immer dunkler und undeutlicher. Wollte man also auch die Vorausetzung zugeben, dass man durch eine durchsichtige farbige Decke zu sehen glaube, so würden doch die hieraus zu ziehenden Folgerungen nicht den beobachteten Thatsachen entsprechen.

In der That dürfte aber auch diese Behauptung gar nicht berechtigt sein. Könnte man vielleicht beim Meyer'schen Versuche durch das aufgelegte Briefpapier veranlasst werden, an eine durchsichtige farbige Decke zu denken, so ist bei Versuchen mit dem Farbenkreisel kaum ein Anlass zu dieser Vorstellung gegeben. Hier sieht man vor der Rotation die einzelnen Sectoren vor sich; sobald aber die Scheibe sich dreht, wird die Contrastfarbe sichtbar, auch wenn die Rotationsgeschwindigkeit noch so klein ist, dass die Sectoren noch nicht gleichmäßige Farben hervorbringen. Das Hauptmoment beim Meyer'schen Versuche ist also offenbar dieses, dass die Sättigung der Farben durch das Briefpapier vermindert wird, so dass ein mäßiger weißlicher Farbenton entsteht. Die hierdurch ausgesprochene Abhängigkeit der Contrastfärbung von dem Sättigungsgrade der Farben hätte aber schon darauf hinweisen sollen, dass wir es hier mit keinem absoluten Maß der Empfindungen zu thun haben, sondern nur mit einem relativen.

Wenn wir demnach eine rein psychologische Erklärung der Contrasterscheinungen, wie sie Helmholtz gegeben hat, als ungenügend ansehen müssen, ist es dann nöthig, dass wir überhaupt eine Erklärung vermeiden, die irgendwie zugleich psychologisch begründet ist? Ohne zwingende Gründe gewiss nicht, da nun einmal unsere Empfindungen psycho-physische Vorgänge sind, und es also sehr wohl denkbar ist, dass gewisse Eigenschaften derselben auf solchen Bedingungen beruhen, die entweder vorläufig oder für immer nur einer psychologi-

schen Analyse zugänglich sind. Den extremen physiologischen Standpunkt in der Theorie der Lichtempfindungen nimmt bekanntlich Hering ein, welcher glaubt, dass durch die in seinen sechs Mittheilungen: »Zur Lehre vom Lichtsinne«[1] angeführten Thatsachen einem lange geführten Streite zu Gunsten der physiologischen Theorie ein Ende gemacht werde. Hering's Polemik richtet sich aber nur gegen die Erklärung der Nachbilder aus der Ermüdungstheorie und gegen die der Contrastphänomene aus Urtheilstäuschungen; schon daraus geht hervor, dass, wenn alle seine Gründe stichhaltig wären, durch sie noch nicht nothwendig jede Art psychologischer Erklärung hinfällig würde.

Seine ersten Versuche (in der ersten Mittheilung) beziehen sich vorzüglich auf die Erklärung des Lichthofes, welcher bei Nachbildversuchen um das negative dunkle Nachbild entsteht, wenn im Vorbilde ein weißes Scheibchen auf schwarzem Grunde gegeben war. Er behauptet, dass dieser Lichthof in einer gesteigerten Entwicklung des sogenannten Eigenlichtes der betroffenen Netzhautstellen, also physiologisch begründet sei. Diese Erscheinung sei nach der Ermüdungstheorie nicht zu erklären; man habe daher meist nur auf die Erklärung des Nachbildes Gewicht gelegt und sich begnügt, den hellen Lichthof auf Contrast, mithin auf Urtheilstäuschungen zurückzuführen. Da diese aber der Eigenthümlichkeit des menschlichen Geistes, also dem »Uebersinnlichen« zugeschrieben werden, verzichte man auf jede wirkliche Erklärung. Die von Hering angeführten Versuche ergeben sich aber ganz einfach aus der Ermüdungstheorie, sofern man nur den Contrast, der dabei auftritt und dessen Erklärung eine Sache für sich ist (wir werden darauf unten zurückkommen), berücksichtigt. Die Thatsache, dass das Auge sowohl für Farben wie für Weiß ermüdet werden kann, bestätigt sich bereits im gewöhnlichen Leben so oft, dass sie nicht zu bezweifeln ist. Wenn der obige Versuch mit absolutem Schwarz ausgeführt worden wäre, so könnte man allerdings behaupten, dass eine Ermüdung hier nicht ins Spiel komme. Nun giebt es aber kein absolutes Schwarz und wir können nur sagen, dass die vom Schwarz getroffenen Netzhautstellen verhältnissmäßig weniger

1) Wien 1878; auch in den Sitzungsber. der Wiener Akad. Math.-naturw. Cl. 3. Abth. Bd. 66 und 68.

ermüdet sind als die benachbarten vom Weiß getroffenen. Die so entstandene Helligkeitsdifferenz im Nachbilde wird dann durch Contrast vergrößert, und der letztere wird außerdem durch die im Nachbilde mäßige Lichtintensität begünstigt. Dass hier wirklich der Contrast eine große Rolle spielt, lässt sich auf verschiedene Weise zeigen. Ersetzt man das weiße Scheibchen des Vorbildes durch ein farbiges, so erhält man im Nachbilde eine gleichfarbige Umgebung, die offenbar aus Contrast zum negativen Nachbilde so gefärbt erscheint. Jede Farbe hat eine gewisse Helligkeit; die vom Schwarz getroffenen Netzhautstellen werden auch in diesem Falle im Verhältniss zu den benachbarten Stellen relativ unermüdet sein, was sich im Nachbilde dadurch ausspricht, dass das complementäre Scheibchen dunkler, die vorher dunkle Umgebung heller erscheint; die mäßig helle Umgebung wird aber vom complementären Nachbilde inducirt, derart, dass ihre Färbung an der Grenze des Nachbildes ganz intensiv complementär erscheint und nach außen in concentrischen Kreisen an Stärke verliert, so dass an der äußersten Grenze noch das gewöhnliche Eigenlicht des Auges sichtbar ist. Nimmt man im Vorbilde ein grünes oder orangegelbes Scheibchen, so ist der Contrast im Nachbilde nicht so auffallend, als wenn man ein purpurnes oder blaues benutzt, da das Eigenlicht selbst einen gelblichen Schimmer besitzt. Auch kommt es sehr auf die Größe der fixirten Scheibe an. Wählt man ein Scheibchen von 5 mm Radius, so erhält man einen viel breiteren und abgestufteren Contrastring als bei Scheibchen von 10 mm Radius. Im letzteren Falle ist ein etwa 2 mm breiter intensiver Ring sichtbar, und die weitere Umgebung ist nur sehr schwach gefärbt. Auch die von Hering erwähnte Thatsache, dass der sogenannte Lichthof noch bestehen bleibt, wenn das negative Nachbild der Scheibe verschwindet, beweist keineswegs, dass der Contrast außer Spiel gelassen werden muss, da, wie aus Fechner's Schattenversuchen bekannt ist, die Contrastfärbung noch sichtbar sein kann, auch wenn die inducirende Farbe weggenommen wird.

In § 4 der ersten Mittheilung wird darauf die Erscheinung besprochen, welche dadurch entsteht, dass man in der Mitte von zwei weißen Quadraten, die in Entfernung von 4 mm von einander auf einen tiefschwarzen Grund gelegt sind, einen Punkt fixirt und darauf die Augen schließt. Dann sieht man zwei Lichthöfe, welche sich in

der Mitte bedecken. Der Zwischenraum der beiden quadratischen Nachbilder leuchtet im Allgemeinen intensiver, als die übrigen Theile der Höfe. Auch diese Erscheinung dürfte durch Contrast zu erklären sein. Man beachte, dass der Zwischenraum nur 4 mm breit ist, also bereits beim Fixiren der Helligkeitsunterschied durch Contrast von beiden Seiten gehoben wird. Noch mehr ist dies aber der Fall, wenn man die Augen schließt, weil eine mäßige Beleuchtung für Contrast günstiger ist. Auch haben wir oben (S. 14) gesehen, dass die Contrastfärbung besser sichtbar ist, wenn die inducirende Farbe von zwei Seiten wirkt, und dass sie im Allgemeinen um so besser erkennbar ist, je schmäler das ringförmige Contrastfeld auf der rotirenden Scheibe hergestellt wird. Alle diese für Contrasterzeugung günstigen Bedingungen sind hier erfüllt, so dass kein Grund vorhanden ist zu behaupten, dass hier an Contrast nicht zu denken sei.

Doch das subjective Licht des Nachbildes, sagt Hering in § 6, ist unter Umständen sogar noch heller, als das objective Licht im Vorbilde. Es ist nun aber eine bekannte Thatsache, dass ein lichtgraues Papier auf schwarzem Grunde in seiner Helligkeit viel mehr gehoben erscheint als ein weißes auf demselben schwarzen Grunde, so dass beide Papiere vollkommen gleich weiß erscheinen, da auch der Helligkeitscontrast, wie der Farbencontrast, bei einer gewissen Helligkeitsdifferenz der Eindrücke sein Maximum erreicht[1]). Berücksichtigt man noch, dass im Nachbilde viel besserer Contrast möglich ist und dass das subjective Licht des Nachbildes, weil es nur innerhalb eines sehr schmalen Streifens gesehen wird, im Verhältniss zur dunklen Umgebung ganz anders empfunden wird, als das objective Licht, welches im Vorbilde über zwei größere Quadrate sich ausbreitet, so dürfte man eher veranlasst werden, die Thatsache des Contrastes anzuerkennen, als ohne Weiteres eine gesteigerte Entwicklung des sogenannten Eigenlichtes anzunehmen.

Deshalb wird uns auch die in § 5 gegebene Fortsetzung des Versuches aus § 4 (»Beschreibung des negativen Nachbildes eines dunkeln Streifens auf hellem Grunde«) nicht von der Nothwendigkeit der Hering'schen Erklärung überzeugen. Bei diesem Versuche werden die beiden weißen Quadrate nach oben und unten verlängert, wodurch

---

1) Wundt, a. a. O. p. 440.

ein schmaler, schwarzer Streifen auf hellem Grunde entsteht. Es wird hier darauf aufmerksam gemacht, dass in der Umgebung eines hellen Nachbildes kein dunkler Lichthof analog dem früher genannten hellen Lichthofe bei dunklem Nachbilde zu sehen sei, der Streifen dagegen ganz intensiv leuchte und unter Umständen heller sei als die weiße Umgebung im Vorbilde. Da dieser Versuch sich vom vorhergehenden (S. 24) eigentlich nur dadurch unterscheidet, dass man hier Schwarz direct fixirt, dort nur indirect, so kann man genau genommen gar nicht die helle Umgebung in jenem Versuch mit der dunkeln in diesem vergleichen. Dass in beiden Fällen nicht ganz dieselben Erscheinungen zum Vorschein kommen, dürfte ja von vornherein klar sein, wenn man bedenkt, dass Weiß die Erregbarkeit der Netzhaut für seinen Reiz erschöpft, während Schwarz dieselbe relativ unverändert lässt. Dagegen kann sehr wohl der helle Lichthof des ersten Versuchs mit dem hellen Streifen im zweiten in Vergleich gesetzt werden, da beide Erscheinungen, wie die Umwandlung des ersten Versuchs in den zweiten zeigt, auf dieselbe Weise entstanden sind. Auch bei diesem Versuche findet man diejenigen Bedingungen vor, welche für Contrasterzeugung geeignet sind. Dadurch wird aber die besondere Intensität des hellen Nachbildes erklärlich.

Wir sehen demnach, dass bei allen genannten Nachbildversuchen der Contrast ein mitwirkender Factor ist. Dieser Nachweis ist aber deswegen werthvoll, weil der Contrast, wie wir später sehen werden, nicht in der von Hering versuchten Weise physiologisch erklärbar ist.

Den simultanen Lichtcontrast bespricht Hering in seiner zweiten Mittheilung. Zuerst bringt er den allbekannten Versuch, bei welchem ein schmaler Streifen dunkelgrauen Papiers viel dunkler erscheint, wenn er auf hellem Grunde, als wenn er auf tiefdunklem Hintergrunde betrachtet wird. Dass diese Erscheinung nicht durch Urtheilstäuschung entsteht, beweist er dadurch, dass er zwei solche graue Streifen neben einander in einer gewissen Entfernung auf verschiedenen Hintergrund legt, wobei die Differenz in der Helligkeit der beiden Streifen ganz auffallend ist. Da, wie früher gezeigt wurde, der Contrast durch falsche Urtheile nicht erklärt werden kann, so ist hier nur die Frage, ob in dem Versuche die Nothwendigkeit einer physiologischen Contrasterklärung bewiesen wird. Nun zeigt aber der

Versuch ganz klar, dass wir für unsere Lichtempfindungen kein absolutes, sondern nur ein relatives, ein durch andere gleichzeitig stattfindende Lichteindrücke bedingtes Maß besitzen. Man wird die Helligkeit eines Objectes stets nach der Helligkeit der umgebenden Objecte bemessen und, wie bei dem angeführten Versuche, werden wir von zwei gleichhellen Gegenständen den einen heller, den andern dunkler schätzen, als sie sind, wenn für jenen eine dunkle, für diesen eine helle Umgebung gewählt wird. Dies ist aber ein Moment, welches zunächst für eine psychologische Auslegung des Contrastes spricht.

Die physiologische Hypothese der Ausbreitung einer durch den Reiz hervorgerufenen Veränderung auf umgebende Netzhautstellen wird aber auch durch die anderen in § 10 angegebenen Thatsachen »über das Nachbild einer Contrastempfindung« nicht erfordert, wie zwingend sie auch Hering erachtet. Zwei 3—4 cm lange und $^1/_2$ cm breite Streifen von dunkelgrauem, nicht glänzendem Papier legt man auf einen zur Hälfte weißen, zur andern Hälfte tiefschwarzen Untergrund derart, dass auf jeder Seite der Grenzlinie ein Streifen und zwar parallel der letzteren und mindestens 1 cm von ihr entfernt zu liegen kommt. Fixirt man einen Punkt auf der Grenzlinie, so erscheint zuerst der eine Streifen viel heller als der andere, später nimmt die auffallende Helligkeitsdifferenz allmählig wieder ab. Schließt man die Augen, so sieht man bald das negative Nachbild; die im Vorbilde helle Hälfte des Grundes erscheint jetzt als die dunklere, die im Vorbilde dunkle als die hellere, und zu beiden Seiten der Grenzlinie werden die Nachbilder der beiden Streifen sichtbar. Die Erscheinung im Nachbilde beruhe nun keineswegs auf Contrast, sagt Hering, und stützt sich auf dreierlei Thatsachen, welche hier auffallen:

1) Die Helligkeitsdifferenz der Streifen im Nachbilde ist im Allgemeinen viel größer, als sie im Vorbilde erschien.

2) Die Helligkeitsdifferenz der Streifen im Nachbilde ist eine Zeit lang größer als die der Grundhälften.

3) Es treten Phasen ein, wo die Helligkeitsdifferenz der Grundhälften ganz verschwindet, während die beiden Streifennachbilder vollkommen deutlich erscheinen.

Diese drei Thatsachen scheinen mir nun aber weniger gegen das Vorhandensein von Contrast zu sprechen, als vielmehr die Analogie

zu bestätigen, welche zwischen Helligkeits- und Farbencontrast besteht.

Von den Nachbildern rühmt Hering, dass bei ihnen, ähnlich wie beim Farbenkreisel, ein viel gleichmäßigerer Farbenton zum Vorschein komme, als im Vorbilde, wo die Unebenheiten des Papieres störend wirken. Schon hierdurch wird aber bei den Nachbildern das Auftreten des Contrastes begünstigt. In gleichem Sinne wirkt die geringere Helligkeit der Objecte und der Umstand, dass die Grenzlinien weniger scharf hervortreten. Umgekehrt können dagegen scharfe Begrenzung und helle Beleuchtung der Gegenstände im Vorbilde kaum vermieden werden. So erkennt man während des Fixirens stets mehr oder weniger deutlich, dass die beiden aufgelegten Streifen aus demselben Papier verfertigt sind, wodurch erklärlich wird, dass die Helligkeitsdifferenz derselben, wie auch Hering bemerkt, mit der Zeit geringer wird. Im Nachbilde dagegen sind diese Bedingungen nicht vorhanden, und der Helligkeitscontrast der beiden Streifen wird hier daher viel größer sein als im Vorbild. Daraus folgt aber, dass die Helligkeitsdifferenz der beiden Streifen bei geschlossenen Augen ebenfalls nur wegen des besseren Contrastes größer ist, als bei offenen.

Dass zweitens die Helligkeitsdifferenz der Streifen im Nachbilde größer als die der Grundhälften erscheinen kann, erklärt sich aus der Anordnung des Versuches. Man beachte, dass die Streifen nur 5 mm breit, aber »mindestens« 10 mm von der Grenzlinie entfernt sind, so dass die zwischen ihnen durch den Hintergrund gebildeten Streifen doppelt so breit sind. Je enger nun aber das Contrastfeld ist, desto größer ist im Allgemeinen die Contrastwirkung, und es ist natürlich, dass die beiden Streifen im Verhältniss zur Umgebung, sowie zu einander vielmehr an Helligkeitsdifferenz gewinnen werden, als die verschiedenen Grundhälften.

Drittens kann es eintreten, dass die beiden Streifennachbilder noch sichtbar sind, auch wenn der Helligkeitsunterschied der Grundflächen verschwunden ist. Dies erinnert abermals an die bekannten Schattenversuche von Fechner. Betrachtet man nämlich mit einer innen geschwärzten Röhre den farbigen Schatten, so erscheint derselbe ebenso gefärbt, wie wenn man mit freien Augen darauf schaut; die Färbung verschwindet aber nicht sogleich, wenn man durch Weg-

ziehen der gefärbten Glasplatte die farbige Beleuchtung aufhebt oder dieselbe durch eine zweite Glasplatte in eine anders farbige verwandelt.[1] Ein gleiches Resultat habe ich auch mit rotirenden Scheiben erhalten siehe unten . Aehnlich dürfte es sich mit dem Helligkeitscontrast im Nachbilde verhalten. Demnach beweist uns auch die dritte Thatsache keineswegs, dass bei dem Versuche an Contrast nicht zu denken sei.

Lässt sich daher bei allen angeführten Versuchen die Anwesenheit von Contrasterscheinungen kaum wegleugnen, so könnten die Versuche für eine rein physiologische Theorie der Lichtempfindungen im Sinne Hering's nur dann sprechen, wenn der Contrast rein physiologisch zu erklären wäre. Nun glaube ich aber in den Versuchen des zweiten Theils Resultate gefunden zu haben, welche mit den consequenten Folgerungen der physiologischen Theorie nicht in Einklang zu bringen sind und zugleich auf eine psychologische Entstehungsweise des Contrastes hindeuten.

Um die Contrastphänomene aus Erregungsvorgängen in den peripherischen Sinnesorganen in gleicher Weise wie die sonstigen Lichtempfindungen zu erklären, nimmt Hering an, dass jede Reizung einer Netzhautstelle die Erregbarkeit für den gleichen Reiz in den benachbarten Netzhautstellen herabsetze und darum hier eine contrastirende Empfindung bewirke.[2] Die Contrastwirkung soll also darauf beruhen, dass die Erregbarkeit und demnach mittelbar auch die Erregung einer Netzhautstelle eine Function der gleichzeitigen Beleuchtung der übrigen Netzhaut oder wenigstens der Nachbarstellen sei. Hienach würde uns der graue Streifen auf weißem Grunde deshalb dunkler erscheinen als auf schwarzem Grunde, weil die Erregbarkeit der entsprechenden Netzhautstelle durch gleichzeitige starke Beleuchtung ihrer Umgebung herabgesetzt wird. Hering gesteht zu, dass damit eine eigentliche Erklärung nicht gegeben werde, aber die Ursache der Contrastwirkung werde durch diese Auffassung wenigstens auf physiologischen Boden verlegt.

Schon eine der einfachsten Folgerungen aus dieser Auffassung wird durch die Thatsachen nicht bestätigt. Man muss sich sagen, dass

---

1) Wundt, Grundz. der phys. Psych. Bd. I. p. 446.
2) a. a. O. 2. Mitth. § 11. p. 29.

die Erregbarkeit der entsprechenden Netzhautstelle um so mehr herabgesetzt werden müsste, je stärker die gleichzeitige Beleuchtung ihrer Umgebung ist. Es ist nun ein Mangel der von Hering angewandten Methode, dass sich diese Folgerung nicht streng durch sie prüfen lässt. Desto besser lassen sich darüber, wie wir früher gesehen haben, beim Farbencontrast, namentlich mit Hülfe der rotirenden Scheiben, Versuche anstellen. Hier würde aber die Folgerung lauten: je intensiver die inducirende Farbe ist, desto stärker ist die Contrastwirkung; und dies ist eine Behauptung, welche direct durch den Versuch widerlegt wird.

Schon der bekannte Versuch von Meyer lässt uns daran zweifeln. Dadurch, dass man dünnes Briefpapier auf die Combination von weißem, resp. schwarzem Scheibchen auf intensiv gefärbtem Grunde deckt, entsteht eine gute Contrastfärbung. Hier bewirkt also gerade die Abnahme der Sättigung der inducirenden Farbe den Contrast. Dieser nimmt aber wieder ab, wenn man mehrere Schichten weißen Briefpapiers auflegt, so dass also eine mäßige Sättigung als die günstigste erscheint. Dieselbe Thatsache lässt sich noch genauer mit rotirenden Scheiben feststellen. Am gesättigtsten erscheint die inducirende Farbe, wenn man volle farbige Scheiben nimmt, also jeden der 4 farbigen Sectoren 90° breit macht; aber hierbei ist nur wenig Contrast zu bemerken, man mag das inducirte Feld wählen, wie man will. Werden die vier farbigen Sectoren schmäler genommen, so erhält man nach und nach bei passendem Contrastfelde immer bessere Contrastwirkung, welche bei einer Sectorenbreite von etwa 20° bis 40° ihr Maximum erreicht. Nehmen die Sectoren von 20° an noch mehr ab, so wird der Contrast wieder minder gut, und ist bei einer Breite von 5° nur noch sehr schwach sichtbar. Daraus ergibt sich, dass eine mäßige Sättigung der inducirenden Farbe für Erzeugung eines guten Contrastes am günstigsten ist, eine Thatsache, welche sich aus der physiologischen Hypothese nicht erklären lässt. Dies Resultat wird auch nicht durch die früher erwähnten Versuche von Rollett beeinträchtigt, weil seine Methode in Bezug auf die quantitative Prüfung zu mangelhaft ist, als dass sie diesen Punkt entscheiden könnte.

Aber auch die Thatsache, dass das Contrastfeld mit Zunahme der Sättigung der inducirenden Farbe dunkler gewählt werden muss, damit eine gute Contrastfärbung zum Vorschein komme, lässt sich mit

der obigen physiologischen Erklärung nicht vereinbaren. Man sollte annehmen, dass die Erregbarkeit einer Netzhautstelle für den auf der Nachbarstelle empfundenen farbigen Reiz herabgesetzt werde, gleichgültig welche farblose Empfindung zur gleichen Zeit die Netzhautstelle trifft. Dies würde aber bedeuten, dass die Contrastempfindung für jede Nuance zwischen Schwarz und Weiß gleich gut zu Stande komme, was durchaus nicht der Fall ist.

Eine andere sehr natürliche Folgerung aus der genannten Auffassung wäre folgende. Werden auf zwei verschiedenen Seiten einer Netzhautstelle zwei verschiedene Farben empfunden, so müsste sie eine für beide Farben zu gleicher Zeit herabgesetzte Erregbarkeit erhalten, und es müsste hier eine aus den Complementärfarben der inducirenden Farben gemischte Farbenempfindung entstehen. Insbesondere, wenn die beiden inducirenden Farben zu einander complementär sind, müsste das in der Mitte zwischen beiden befindliche Contrastfeld in der ursprünglichen Beschaffenheit, d. h. bei weißem Contrastfeld wirklich weiß erscheinen. Als ich Versuche in dieser Beziehung anstellte, war ich anfangs von der Nothwendigkeit des Eintretens dieser Erscheinung so überzeugt, dass ich das Misslingen einer ungeschickten Anordnung der Versuche Schuld gab. Aber trotz aller Mühe, obgleich ich die Versuche nach allen Richtungen variirte, konnte ich das Erwartete nicht wahrnehmen. Da die inducirte Färbung sich bei Induction von nur einer Seite über das ganze Contrastfeld erstreckte, so musste ich annehmen, dass bei entgegengesetzter Induction von beiden Seiten der ganze Contrastring im ursprünglichen oder einem angenäherten Grau erscheinen werde. Dies war nicht der Fall. Es zeigte sich auch nicht etwa ein innerer grauer Ring begrenzt von zwei complementären Contrastringen. Vielmehr lagerten sich stets zwei complementäre Contrastringe nebeneinander. Hiermit dürfte aber eine physiologische Erklärung, welche die Entstehungsursache des Contrastes allein von der Beschaffenheit der Netzhaut abhängig macht, kaum in Einklang zu bringen sein. Ebenso dürfte die Thatsache, dass ein sehr schmaler Contrastring unter Induction complementärer Farben spiegelnd erscheint, eine Erklärung aus Erregungsvorgängen in den peripherischen Sinnesapparaten ausschließen und darauf hinweisen, dass hier centralere Vorgänge eine Rolle spielen [1].

1) Wundt, a. a. O. p. 457.

Sind die eben angeführten Thatsachen nun derart, dass sie mit der physiologischen Auffassung der Contrastphänomene, insofern diese auf bloße Netzhautprocesse zurückgeht, geradezu im Widerspruch stehen, so gibt es auch noch einige andere, die durch dieselbe keine Erklärung finden. Zu diesen wäre zunächst die bekannte, bereits früher erwähnte Modification der Fechner'schen Schattenversuche zu rechnen. Bei den Versuchen vermittelst rotirender Scheiben hat man hier folgendermaßen zu verfahren. Man nimmt eine innen geschwärzte enge Röhre, welche oben weit genug ist, um die Augen vor von der Seite kommendem Lichte zu schützen, unten dagegen eine so kleine Oeffnung besitzt, dass man gegebenen Falls nur das Contrastfeld übersieht. Blickt man durch dieselbe auf die Grenze zwischen inducirendem und inducirtem Felde, so erscheint das Contrastfeld zur inducirenden Farbe complementär gefärbt. Bewegt man sodann die Röhre nach dem Contrastfeld zu, so dass dieses allein sichtbar bleibt, so bleibt die Contrastwirkung noch längere Zeit bestehen, obgleich man jetzt die inducirende Farbe nicht mehr sieht. Um dies physiologisch zu erklären, müsste man annehmen, dass die Erregbarkeit einer Netzhautstelle für den auf der Nachbarstelle empfundenen Reiz so sehr herabgesetzt werden könne, dass sie auch unabhängig von der benachbarten Erregung noch für den Reiz geschwächt bliebe. Daraus würde aber folgen, dass die Wechselwirkung benachbarter Netzhautstellen keineswegs eine so unmittelbare sei, wie man annimmt.

Dagegen ist diese Thatsache mit der so natürlichen Auffassung, nach der man Lichtempfindungen gemäß dem Weber'schen Gesetze nur im Verhältniss zu einander bestimmt, sehr wohl vereinbar. Es ist dabei nur zu beachten, dass die Reproduction, welche Helmholtz als alleinigen Grund des Contrastes ansieht, unter Umständen allerdings einen Einfluss gewinnen kann. Wir setzen die Färbung, in der uns das Contrastfeld nach Aufhören der Induction erscheint, in Beziehung zu der eben gesehenen Contrastfärbung und sie erscheint uns daher noch einige Zeit mit dieser gleichartig; die Erinnerung an eine bestimmte Farbe ist aber nur sehr schwach, so dass wir bald das Feld in der ursprünglichen Farbe erkennen. Die Contrastfärbung verschwindet ferner sofort, sobald wir sie mit einer anderen Farbe vergleichen, z. B. wenn wir die Augen schließen, oder sie wandelt sich in eine andere um, wenn wir die Oeffnung der Röhre über die Grenze

einer anderen inducirenden Farbe bewegen, weil hier wieder die wechselseitige Beziehung gleichzeitiger Reize stärker ist, als die Beziehung auf früher stattgefundene Empfindungen.

Der Einfluss der Erinnerung oder Reproduction kann nun aber nicht bloß, wie bei dem Fechner'schen Versuch, die Contrastfarbe eine Zeit lang beharren lassen, wenn die Bedingungen zu ihrer Entstehung verschwunden sind, sondern er kann auch umgekehrt die Contrastfarbe beseitigen, während die Bedingungen dazu noch andauern. Dies geschieht dann, wenn man das Contrastfeld mit nicht inducirten Objecten vergleicht, welche dieselbe Färbung besitzen. Diese Erscheinung hat bereits Helmholtz im Anschluss an den Meyer'schen Versuch hervorgehoben, aber vom Standpunkte seiner Theorie der Urtheilstäuschungen aus in unzulänglicher Weise erklärt.

Auf ein farbiges Papier ist ein graues Schnitzelchen gelegt und darüber ein Stück durchscheinendes weißes Briefpapier gedeckt. Hier ist klar, dass gerade dadurch, dass die Begrenzung zwischen inducirender und inducirter Farbe nicht mehr scharf hervortritt, die Contrastwirkung begünstigt wird. Dies zeigt sich noch besonders durch Betrachtung des Gegentheils, wenn man die Grenze des grauen Schnitzelchens auf dem weißen Briefpapier markirt. Denn dann verschwindet die Contrastwirkung, offenbar weil man gezwungen wird, die inducirende und die inducirte Farbe nicht in Beziehung zu einander, sondern jede für sich oder in Beziehung zu der schwarzen Begrenzung aufzufassen. Auch wird möglicher Weise hier schon die Reproduction früher gesehener ähnlicher Objecte wachgerufen, welche unsere Neigung, gleichzeitig appercipirte Empfindungen im Verhältniss zu einander zu bestimmen, beeinträchtigt. Die nämliche Erscheinung kann man bei rotirenden Scheiben [1]) hervorrufen, indem man den Contrastring durch feine schwarze Kreise gegen die inducirende Farbe abgrenzt. Wenn man mit dickeren auf einander gelegten Scheiben die Versuche ausführt, so kann der Schatten, welchen die kleineren auf den größeren Scheiben entwerfen, eine ähnliche Wirkung herbeiführen.

Noch wirksamer kann der Contrast dadurch zum Verschwinden gebracht werden, dass man das Contrastobject unmittelbar mit anderen

---

1) Helmholtz, Phys. Opt. p. 412 und 414.

selbständigen Eindrücken vergleicht. Helmholtz hat diese Thatsache wiederum beim Meyer'schen Versuch gezeigt. »Wenn man sich«, sagt er, »ein Schnitzelchen auswählt, welches genau dieselbe Farbe und Helligkeit hat wie das Briefpapier über der grauen Unterlage, dies an die betreffende Stelle des Briefpapiers hinschiebt und nun anfängt, die Farben beider Stellen genau mit einander zu vergleichen, so verschwindet die Contrastwirkung auch auf der weißen Stelle des Briefpapiers, wo sie früher bestand, und diese erscheint nun weiß, so lange man das andere Schnitzelchen zur Vergleichung daneben hat.« Auch dieser Versuch ist vermittelst rotirender Scheiben sehr gut durchzuführen, um so besser als hier das Grau des Contrastfeldes und das Grau des verglichenen Objectes genau gleich gemacht werden können, indem auf einen zweiten Rotationsapparat eine schwarz-weiße Scheibe von genau derselben Beschaffenheit gesteckt wird, wie sie die zur Herstellung des Contrastfeldes am ersten Apparate benutzte besitzt. Doch muss man bei diesem Versuche mit Vorsicht verfahren. Nimmt man für den einen Apparat die gewöhnliche Scheibencombination, bei welcher ein Contrastring zwischen zwei gleichen inducirenden Farben entsteht, für den zweiten eine schwarz-weiße Scheibe genau gleich der Scheibe No. 2 am ersten, so muss man, um gut vergleichen zu können, die graue Scheibe das Contrastfeld theilweise bedecken lassen. Hierbei könnte man aber annehmen, dass die eintretende Veränderung der Contrastfarbe von der Bedeckung des einen Theils der inducirenden Farbe herrühre; wenn man dagegen die graue Scheibe nicht über die Grenze des Contrastfeldes schiebt, kommt es auch vor, dass der zunächst liegende Rand der Scheibe in schwacher gleichartiger Contrastfarbe erscheint, wie der Contrastring. Dies ist besonders der Fall, wenn die Contrastfarbe grünlich oder gelblich ist, weil das Grau der zu vergleichenden Scheibe in Folge des Tageslichtes ohnehin schon eine gelbliche Nuance besitzt. Um diesen Uebelständen zu entgehen, ist es zweckmäßig, den äußeren inducirenden Ring wegzulassen, mithin die größten Scheiben zu entfernen und nur durch eine farbige Scheibe von innen die Contrastfärbung inducirен zu lassen. In der That verschwand bei solchen Versuchen die Contrastwirkung, wenn ich eine Scheibe von gleichem Grau wie das ursprüngliche des Contrastringes zur Vergleichung brachte. Wurde dagegen eine Scheibe von entschieden anderem Grau verglichen, so

wurde die Contrastfärbung nicht beeinträchtigt. Doch ist zu bemerken, dass die Aenderung sich allemal nur auf die zunächst liegende Seite des Contrastfeldes bezog.

Diese physiologisch unerklärlichen Thatsachen beweisen uns ebenfalls die subjective Natur der Contrastempfindungen; sie zeigen uns aber auch, dass die Reproduction oder Erinnerung beim Contrast nur von secundärer Bedeutung ist, da der Contrast um so besser wird, je weniger Gelegenheit zur Reproduction geboten wird. Die vorher besprochenen Erscheinungen sprechen dagegen ganz klar aus, dass die hauptsächlichste Ursache der Contrastphänomene der Umstand ist, dass die Lichtempfindungen, ebenso wie alle anderen Empfindungen, im Verhältniss zu gleichzeitig stattfindenden anderen Eindrücken geschätzt werden. So fanden wir für jeden Sättigungsgrad der inducirenden Farbe eine ziemlich bestimmte Sectorenbreite der schwarzweißen Scheiben, bei der die Contrastwirkung ihr Maximum erreichte; andrerseits sahen wir, dass bei den verschiedenen Sättigungsgraden der Farbe das für das Maximum gefundene Verhältniss der Breite der schwarzen Sectoren zu der jeweiligen Breite der farbigen Sectoren annähernd überall dasselbe war und sich der Einheit näherte.

Dass nicht bei einer ganz bestimmten Sectorenbreite der schwarzweißen Scheiben das Maximum jedes Mal sichtbar wurde, sondern verschiedene Breiten hinter einander fast gleich gutes Contrastmaximum bewirkten, dürfte bei näherem Eingehen auf die Versuche ebenfalls beweisen, dass wir ein absolutes Maß für unsere Lichtempfindungen nicht besitzen. Wie früher bemerkt, vollzog ich die Versuche in der Art, dass ich an zwei Rotationsapparaten gleichgroße Scheiben mit gleichbreiten und gleichvielen farbigen Sectoren befestigte und die Breite der vier schwarzen Mittelstücke variirte, indem ich mit Weiß (Sector-Breite = 0° Schwarz) beim linken und Sector-Breite = 5° beim rechten Apparate begann; dann ersetzte ich links S.-B. = 0° mit S.-B. = 10° und verglich, darauf rechts S.-B. = 5° mit S.-B. = 20° u. s. w. Näherte ich mich nun dem Contrastmaximum, so gelangte ich gewöhnlich zu einer Breite der schwarzen Sectoren, wo das dunklere Contrastfeld auf dem einen Apparate mir weniger gut gefärbt erschien, wie das hellere auf dem anderen; behielt ich jetzt das dunklere bei und ersetzte das hellere durch ein noch dunkleres, so erschien mir bei Vergleich der jetzigen Contrasterscheinungen das nun-

mehr hellere Contrastfeld viel besser gefärbt, als vorher. Die Erinnerung an die soeben gesehene Färbung war offenbar schwächer als die Wechselwirkung der zugleich appercipirten Eindrücke.[1])

Zum Schluss möchte ich noch auf eine Stelle in Hering's Abhandlung aufmerksam machen, welche zeigt, wie ungenügend die von ihm entwickelte Theorie in manchen Punkten ist. In den letzten Worten der dritten Mittheilung erklärt er ausdrücklich, dass alle Versuche ebenso gut mit Blau und Gelb und mit Grün und Roth (?) angestellt werden könnten. Da nun aber jede von zwei complementären Farben gleichberechtigt ist, so müssen die Lichthöfe, welche bei den entgegengesetzten Combinationen Blau auf Gelb und Gelb auf Blau oder Grün auf Purpur und Purpur auf Grün erscheinen, analoge Erscheinungen bieten, während er bei den entsprechenden Combinationen von Schwarz mit Weiß von einer Analogie zwischen den Umgebungen der Nachbilder nichts wissen will. Bei den übrigen Versuchen verhält es sich ebenso.

Da sich seine in der fünften Mittheilung (Grundzüge einer Theorie des Lichtsinnes) entwickelte Theorie der Lichtempfindungen auf diese Versuche stützt, so ist es natürlich, dass dieser Widerspruch auch hier auftritt. Er präcisirt seine daselbst aufgestellte Hypothese dahin, dass der Empfindung des Weißen oder Hellen die Dissimilirung, der Empfindung des Schwarzen oder Dunklen die Assimilirung der Sehsubstanz entspreche. In der sechsten Mittheilung (§ 42: Hauptsätze einer neuen Theorie des Farbensinnes) bemerkt er: »Die sechs Grundempfindungen der Sehsubstanz ordnen sich zu drei Paaren: Schwarz und Weiß, Blau und Gelb, Grün und Roth. Jedem dieser drei Paare entspricht ein Dissimilirungs- und ein Assimilirungsprocess besonderer Qualität, so dass also die Sehsubstanz in dreifach verschiedener Weise der chemischen Veränderung oder des Stoffwechsels fähig ist«. Der Umstand, dass uns die eine Farbe heller erscheint als die andere, dass unserer farbigen Empfindung mehr oder weniger farblose Empfindung beigemischt ist, kann offenbar keinen Anlass zu einer solchen princi-

---

1) Dass die hier besprochene psychologische Auffassung der Contrastphänomene eine physiologische Erklärung durch centrale Innervationsvorgänge nicht ausschließt, hat Herr Prof. Wundt in seinem öfter citirten Werke an verschiedenen Stellen hervorgehoben.

piellen Eintheilung geben. Daher ist auch unbestimmt gelassen, welche Farbe von jedem Paare die Assimilirungs- und welche die Dissimilirungsfarbe ist. Die Analogie ist hier ebenso wenig durchführbar, wie bei seinen Versuchen. Abgesehen von den sonstigen Bedenken, welchen Hering's Theorie der Lichtempfindungen begegnet, dürfte demnach schon das Studium der Contrastphänomene zur Widerlegung derselben genügen.

VITA.

Ich, Gustav Bruno Theodor Schmerler, ward am 20. März 1857 als Sohn des Kaufmanns Bruno Schmerler zu Breslau geboren. Nach dem Tode meiner Eltern nahm mich Michaeli 1866 mein Onkel, Hofrath Hertel, damals Gerichtsamtmann in Borna, gegenwärtig erster Oberamtsrichter in Leipzig, in sein Haus auf und wurde mir ein Pflegevater im wahrsten Sinne des Wortes. Von Johanni 1870 ab besuchte ich, nach einem Aufenthalte von $2^1/_4$ Jahren im Freimaurerinstitut in Dresden, das Progymnasium in Grimma, dem Geburtsorte meines Vaters, und wurde Ostern 1872 in die Obertertia der Albertina zu Freiberg, wohin mein Onkel inzwischen versetzt worden war, aufgenommen. Auch hier sollte mein Aufenthalt nur von kurzer Dauer sein, da mein Onkel Michaeli 1874 als Gerichtsamtmann nach Leipzig übersiedelte. Hier absolvirte ich das Nicolaigymnasium und erhielt Ostern 1877 noch unter dem Rectorat des Herrn Prof. Dr. Lipsius das Zeugniss der Reife. Angeregt durch den mathematischen Unterricht des Herrn Prof. Dr. Gebhardt, widmete ich mich nach meiner am 16. April 1877 an der Universität Leipzig erfolgten Immatriculation dem Studium der Mathematik und Physik.

Während meines Verbleibens an der Universität Leipzig hörte ich Vorlesungen bei den Herren Professoren Drobisch, Wundt, Zöllner, Hankel, G. Wiedemann, Scheibner, Bruhns, Neumann, Mayer, Von der Mühll, E. Wiedemann, Hofmann, Wenck und Biedermann, sowie bei dem Herrn Docenten Wolff, und nahm Theil an Uebungen und Seminaren der Herren Professoren Hankel, Wundt, Scheibner, Neumann, Mayer, Von der Mühll und Hofmann. Allen diesen meinen verehrten Lehrern spreche ich für alle ihre Bemühungen um mich, namentlich Herrn Prof. Wundt für gütige Anregung und Förderung der vorliegenden Arbeit meinen wärmsten Dank aus.

Im November 1880 meldete ich mich zum mathematischen Staatsexamen, das ich im Mai 1881 bestand. Seit 1. Juni 1881 bin ich als Mathematiker bei der Lebensversicherungs-Gesellschaft zu Leipzig thätig.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.